Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2021

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.
L'usage de la calculatrice **sans mémoire**, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 puis il choisit 2 exercices parmi les 3 proposés.

EXERCICE 1 COMMUN À TOUS LES CANDIDATS

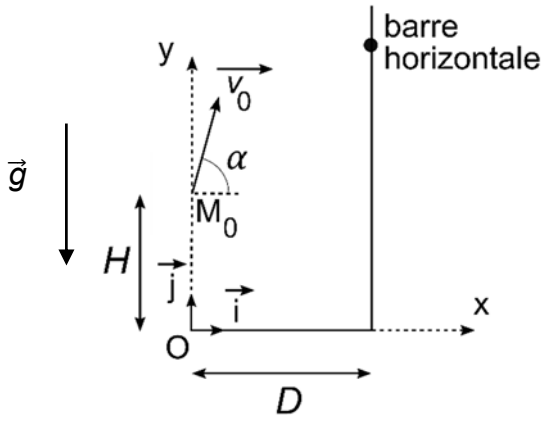
UN SPORT TRADITIONNEL : LE LANCER DE GERBE DE PAILLE (10 POINTS)

Le lancer de gerbe de paille est une activité sportive, issue du domaine agricole, qui se pratique aujourd'hui en compétition. Le but du jeu est de lancer, à l'aide d'une fourche, une gerbe de paille, assimilable à un parallélépipède rectangle de longueur 0,60 m, de largeur 0,40 m et d'épaisseur 0,40 m, au-dessus d'une barre horizontale placée à une hauteur bien précise.



A. Étude du lancer

On modélise la situation en compétition de la manière suivante :



Les échelles de longueur ne sont pas respectées sur le schéma.

- La gerbe de paille de masse m = 7,257 kg est assimilée à un point matériel M, correspondant au centre masse.
- À l'instant initial, M se trouve au point M_0 tel que $OM_0 = H$ = 2,80 m.
- Le lanceur se trouve à la distance D = 2,0 m de la base des supports de la barre horizontale.
- L'étude débute à t = 0 quand la gerbe de paille vient de quitter la fourche (au point M_0) avec une vitesse initiale représentée par le vecteur vitesse $\vec{v_0}$ incliné d'un angle α = 80° par rapport à l'horizontale. La valeur de la vitesse initiale est v_0 = 9,0 m·s^{-1}.
- On suppose que la trajectoire de M s'effectue dans le plan xOy.
- La barre horizontale est à une hauteur de 4,50 m par rapport au sol.
- L'action de l'air est négligée.
- Le champ de pesanteur, considéré comme uniforme, vaut g = 9,8 m·s^{-2}.

Exercice 1 (obligatoire)

On étudie le mouvement de M dans le référentiel terrestre dont le repère xOy est défini sur le schéma introductif.

A.1. Utiliser la deuxième loi de Newton pour déterminer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération de M.

A.2. Montrer que les équations horaires du mouvement de M s'expriment sous la forme :

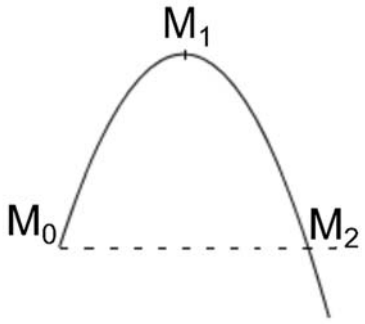
$$x(t) = v_o \cdot t \cdot \cos\alpha$$

$$y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + v_o \cdot t \cdot \sin\alpha + H$$

A.3. En déduire l'équation de la trajectoire *y(x)* de M.

A.4. À l'aide d'une analyse quantitative, indiquer si la gerbe de paille franchira, ou pas, la barre horizontale.

On s'intéresse à trois positions particulières de M sur sa trajectoire parabolique : la position initiale M_0, le point M_1 au sommet de la trajectoire et le point M_2 à la même hauteur que M_0 par lequel passe M lors de la phase descendante du mouvement.



L'énergie potentielle de pesanteur est choisie nulle au niveau du sol.

A.5. Calculer la valeur de l'énergie cinétique et celle de l'énergie potentielle de pesanteur du système en M_0.

A.6. Indiquer par un raisonnement détaillé si chacune des trois propositions suivantes est vraie, ou fausse, lorsque l'on néglige l'action de l'air.

Proposition I : l'énergie mécanique est maximale en M_0.

Proposition II : l'énergie cinétique est nulle en M_1.

Proposition III : l'énergie cinétique en M_2 est inférieure à l'énergie cinétique en M_0.

En réalité, l'action de l'air ne peut pas être négligée.

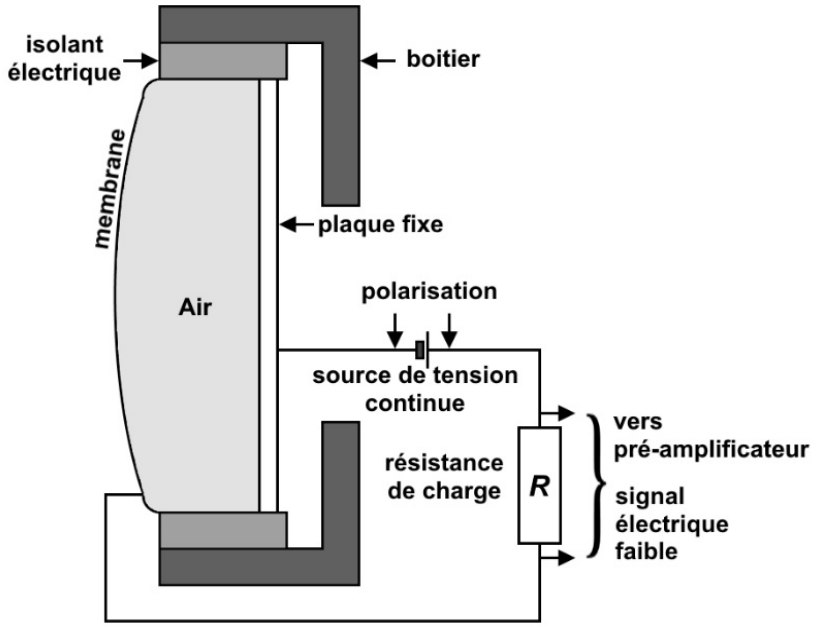
A.7. Indiquer par un raisonnement détaillé si chacune des trois propositions de la question **A.6.** reste vraie, ou fausse, lorsqu'on ne néglige plus l'action de l'air.

B. Le microphone de l'animateur

L'animateur de la compétition du lancer de gerbe de paille utilise un microphone relié à une enceinte acoustique par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance.

Le microphone utilisé lors de la compétition est un transducteur électroacoustique. Il permet de convertir un signal acoustique en un signal électrique.

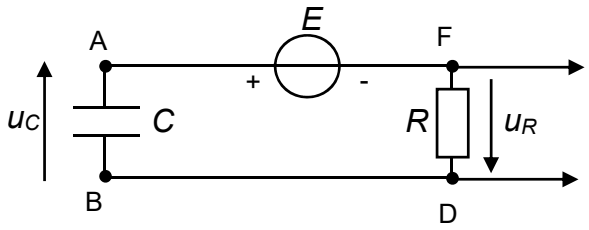
Schéma de principe du microphone



Le condensateur présent dans le microphone est formé de deux armatures ; la première est constituée d'une membrane mobile en plastique recouverte d'une fine pellicule métallique, la seconde est constituée d'une plaque métallique fixe. Lorsque le microphone ne capte pas de son, la distance entre les deux armatures est de l'ordre de 15 à 25 µm.

En outre, pour fonctionner, le condensateur doit être chargé ; on insère donc une source de tension continue qui n'a pas d'effet sur le signal électrique de sortie envoyé vers le pré-amplificateur.

On modélise alors le microphone par le circuit électrique suivant :



Tension continue délivrée par la source idéale : E = 48 V

Résistance du conducteur ohmique de charge : $R = 100 \times 10^6\ \Omega$

Capacité du condensateur : C

Exercice 1 (obligatoire)

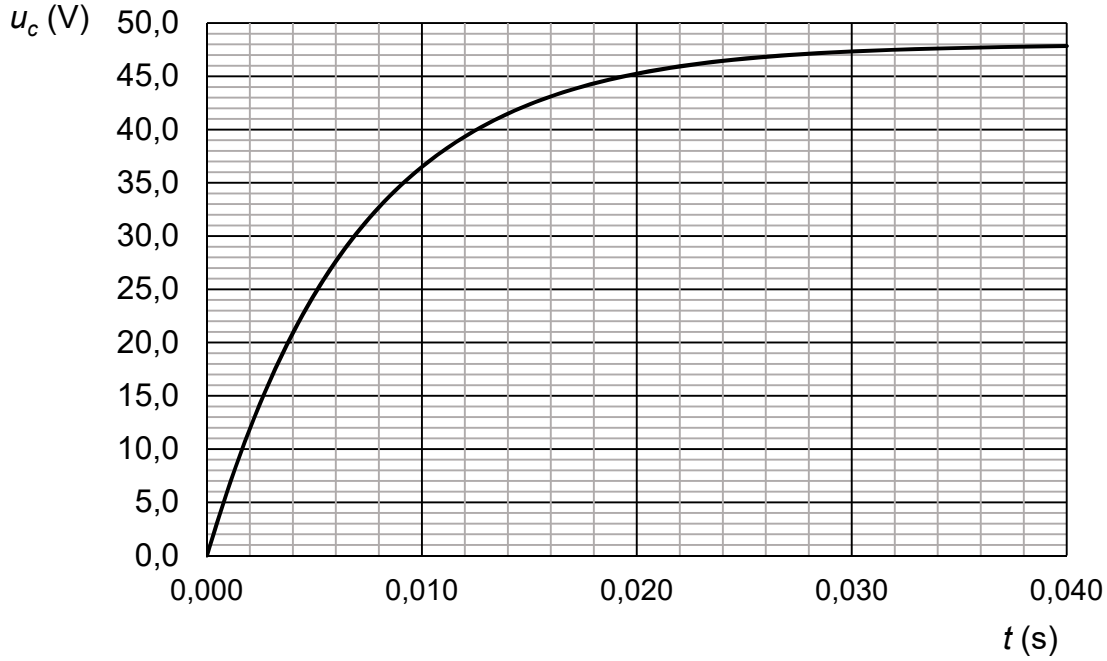
Pour fonctionner, le condensateur doit rester chargé. On étudie la phase de charge, le microphone ne captant pas de son.

B.1. Établir la relation entre la tension E aux bornes de la source de tension idéale, la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur et la tension $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique.

B.2. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_c(t)$ lors de la charge est de la forme : $E = R \times C \times \frac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t} + u_c(t)$.

Grâce à un dispositif approprié, on mesure la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge. On obtient la courbe suivante.

Évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur



Cette courbe peut être modélisée par une des trois fonctions mathématiques proposées ci-dessous :

Fonction 1 : $u_c(t) = E \times (1 - e^{\frac{t}{R \times C}})$ Fonction 2 : $u_c(t) = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$

Fonction 3 : $u_c(t) = E \times (1 - e^{-\frac{t}{R \times C}})$

B.3. En exploitant la courbe, indiquer par un raisonnement argumenté la fonction qui modélise la charge du condensateur.

B.4. Vérifier que la fonction retenue est solution de l'équation différentielle établie à la question **B.2.**

La capacité C d'un condensateur plan constitué de deux armatures métalliques de surface S en regard l'une de l'autre, séparées d'une distance d, est donnée par la relation $C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d}$ avec ε la permittivité de l'air entre les deux armatures du condensateur. Pour le microphone étudié, le produit de la permittivité de l'air par la surface est : $\varepsilon \cdot S = 1{,}4 \times 10^{-15}$ F·m.

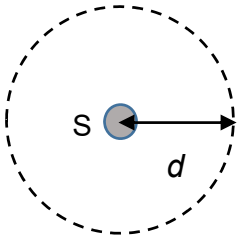
B.5. En exploitant la courbe et en explicitant le raisonnement, déterminer la valeur de la distance d séparant les deux armatures quand le microphone fonctionne mais qu'il ne capte pas de son.

Sous l'effet des ondes sonores émises par l'animateur, la membrane se déplace en entraînant une modification de la distance entre les deux armatures du condensateur. La tension de sortie envoyée vers le pré-amplificateur est alors l'image des ondes sonores captées par le microphone.

B.6. Justifier par un raisonnement détaillé l'évolution de la capacité du condensateur lorsque la distance séparant les deux armatures diminue.

C. L'enceinte

Une source S, émettant des ondes sonores de puissance P, est isotrope si elle émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. L'intensité sonore mesurée, notée I, dépend alors de la distance d à la source selon la relation : $I = \frac{P}{4\pi \cdot d^2}$ avec I en W·m^{-2} ; P en W et d en m.



Le niveau d'intensité sonore, noté L, est lié à l'intensité sonore par la relation :

$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec L exprimé en dB, I en W·m^{-2} et $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

Le microphone est relié, par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance, à une enceinte.

L'intensité sonore mesurée à 1,0 m devant l'enceinte vaut : $I_1 = 3{,}2 \times 10^{-3}$ W·m^{-2}.

C.1. Calculer le niveau d'intensité sonore L_1 correspondant à l'intensité sonore I_1.

Exercice 1 (obligatoire)

La législation européenne indique les durées limites d'exposition journalière à ne pas dépasser à certains niveaux d'intensité sonore pour ne pas engendrer des traumatismes irréversibles :

L (dB)	86	92	95	101	107
Durée limite d'exposition	2 h/jour	30 min/jour	15 min/jour	4 min/jour	1 min/jour

C.2. Commenter le résultat de la question **C.1.** au regard de ces durées limites d'exposition journalière.

C.3. Montrer que la puissance P de l'enceinte est égale à $4{,}0 \times 10^{-2}$ W.

Les organisateurs de la manifestation sportive, d'une durée de 2 h, ont fixé à $2{,}0 \times 10^{-4}$ W·m^{-2} la valeur maximale de l'intensité sonore perçue par les spectateurs.

C.4. Expliquer le choix des organisateurs de fixer à $2{,}0 \times 10^{-4}$ W·m^{-2} la valeur maximale de l'intensité sonore perçue par les spectateurs.

Des barrières de sécurité entourent l'enceinte à 3,0 m de celle-ci, pour éviter que les spectateurs en soient trop proches.

C.5. Indiquer, par un raisonnement quantitatif, si la distance de sécurité entre les barrières et l'enceinte est suffisante pour respecter la valeur maximale de $2{,}0 \times 10^{-4}$ W·m^{-2} choisie par les organisateurs.

.

EXERCICES AU CHOIX DU CANDIDAT

Vous indiquerez sur votre copie **les 2 exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C

EXERCICE A. L'ACIDE LACTIQUE ET LE LACTATE D'ÉTHYLE (5 POINTS)

Mots clés : familles fonctionnelles ; couple acide-base ; facteurs cinétiques ; vitesse volumique d'apparition d'un produit ; incertitude-type.

L'acide lactique, obtenu par fermentation du glucose par exemple, est à la base de nombreux dérivés utilisés dans l'industrie, proposant ainsi une alternative à la pétrochimie.

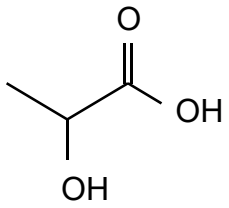
L'un de ces dérivés, le lactate d'éthyle, est un ester ; il est utilisé comme additif alimentaire, dissolvant pour vernis, dégraissant de pièces métalliques…

Données

Formule brute de l'acide lactique : $C_3H_6O_3$

Masse molaire de l'acide lactique : $M = 90{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Formule topologique de l'acide lactique :



A. L'acide lactique ou acide 2-hydroxypropanoïque

A.1. Identifier et nommer les familles fonctionnelles présentes dans la molécule d'acide lactique.

A.2. Représenter la formule topologique de l'isomère de position de l'acide lactique.

On souhaite mesurer le pK_A du couple acide lactique/ion lactate.

L'équation de la réaction modélisant la transformation acido-basique entre l'acide lactique et l'eau est : $C_3H_6O_3(aq) + H_2O(\ell) \rightleftarrows C_3H_5O_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$

A.3. Identifier les deux couples acide-base mis en jeu dans cette transformation.

A.4. Montrer que la constante d'acidité K_A du couple de l'acide lactique peut s'exprimer sous la forme :

$$K_A = \frac{[H_3O^+]^2}{(C - [H_3O^+]) \cdot c^\circ}$$

avec C concentration en acide apporté et $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$ la concentration standard.

Exercice A (au choix)

On mesure le *pH* d'une solution aqueuse d'acide lactique, de concentration en acide apporté $C = 8{,}00 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}. On obtient : $pH = 3{,}03$.

A.5. Calculer la concentration en quantité de matière d'ions oxonium $H_3O^+(aq)$ de cette solution.

A.6. Justifier que l'acide lactique n'est pas un acide fort.

A.7. En déduire la valeur de la constante d'acidité K_A puis la valeur du pK_A.

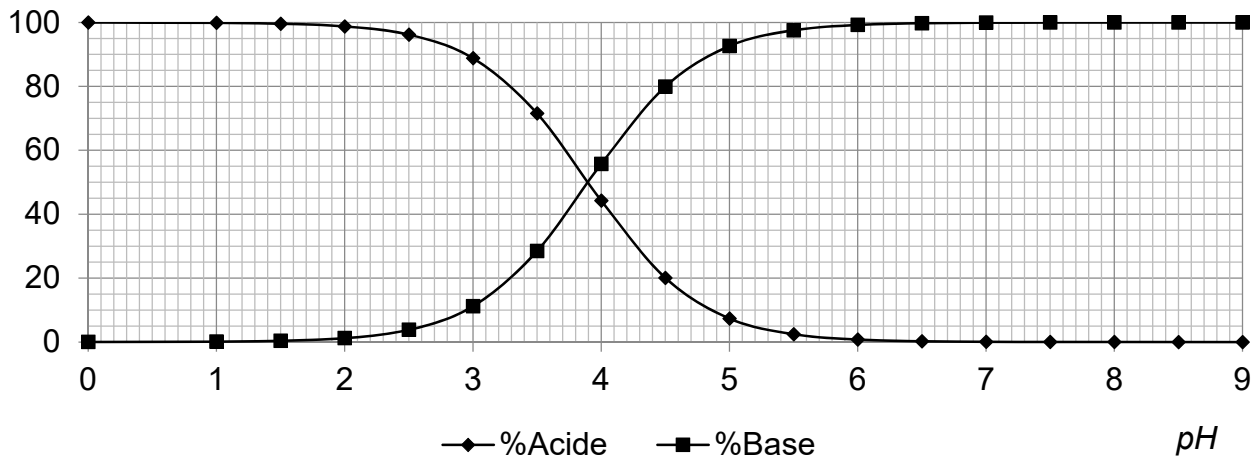
On effectue une série de douze mesures du *pH* de la solution aqueuse d'acide lactique, de concentration en acide apporté $C = 8{,}00 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}.

Le traitement statistique des résultats de ces mesures aboutit à une valeur moyenne du pK_A, notée pK_{Am}, de 3,871667 avec une incertitude-type, notée $u(pK_A)$, de 0,026935.

A.8. Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de la mesure pK_{Am}.

Le diagramme de distribution suivant du couple de l'acide lactique est construit en utilisant la valeur de référence $pK_{Aref} = 3{,}90$ du pK_A du couple de l'acide lactique.

Diagramme de distribution du couple de l'acide lactique



A.9. Expliquer et justifier la méthode permettant de retrouver sur le diagramme de distribution la valeur pK_{Aref}.

A.10. Comparer, en prenant appui sur un calcul, le résultat pK_{Am} de la mesure avec la valeur de référence pK_{Aref}.

B. Estérification de l'acide lactique

Le lactate d'éthyle peut être synthétisé à partir de l'acide lactique et de l'éthanol. L'équation de réaction d'estérification associée à cette transformation est la suivante :

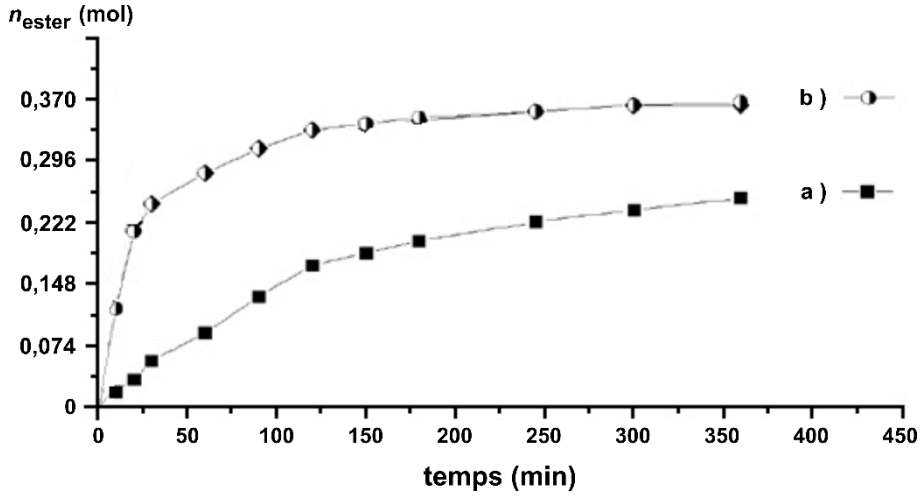
$$C_3H_6O_3\ (\ell) + C_2H_6O\ (\ell) \rightleftarrows C_5H_{10}O_3\ (\ell) + H_2O\ (\ell)$$

Pour étudier l'influence de différents paramètres sur cette transformation, on fait réagir deux systèmes chimiques identiques de même volume mais dans des conditions différentes.

	Mélange initial	Protocole
Expérience (a)	0,741 mol d'acide lactique et 0,850 mol d'éthanol	Chauffage à reflux à 80 °C
Expérience (b)	0,741 mol d'acide lactique, 0,850 mol d'éthanol et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré	Chauffage à reflux à 80 °C

Par une succession de dosages à différents instants, on peut suivre l'évolution temporelle de la transformation. On obtient alors les deux courbes suivantes :

Quantité d'ester formé n_{ester} au cours du temps



Source : D'après CNRS

On note *V*, le volume du milieu réactionnel, supposé constant.

B.1. Exprimer la vitesse volumique *v* d'apparition de l'ester.

B.2. En analysant qualitativement la courbe (b), indiquer l'évolution de la vitesse volumique *v* d'apparition de l'ester.

B.3. Identifier le rôle joué par l'acide sulfurique.

B.4. Indiquer, en argumentant, si pour l'expérience (a) l'état final est atteint au bout de 350 min.

EXERCICE B. UN APPORT DE MAGNÉSIUM (5 POINTS)

Mots clés : dilution ; titrage avec suivi pHmétrique

Le manque de magnésium dans l'organisme se manifeste par des contractures, des tremblements, une fatigue, une tétanie…

Donnée : masse molaire du magnésium : $M(\text{Mg}) = 24{,}3\ \text{g·mol}^{-1}$.

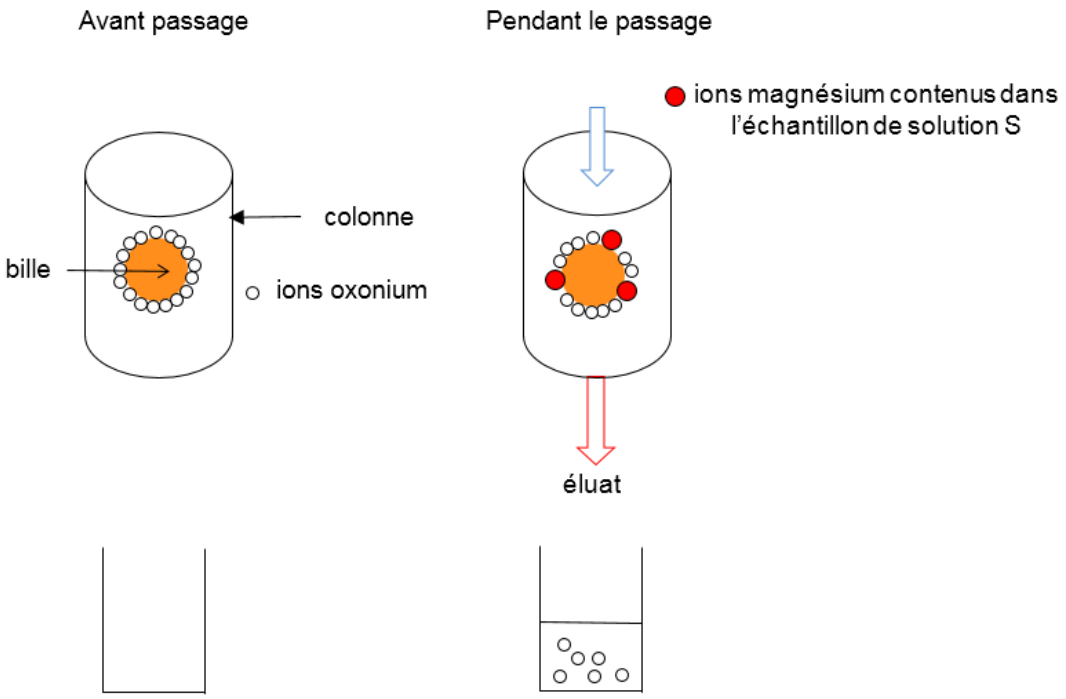
On s'intéresse à un médicament qui aide à combler ce manque en apportant le magnésium sous forme d'ions magnésium $Mg^{2+}(aq)$ contenus dans des comprimés. Le but de cet exercice est de déterminer le nombre de comprimés de ce médicament qu'un patient pourrait prendre chaque jour pour compenser ce manque de magnésium.

Pour cela on réalise un protocole expérimental en deux étapes :

Première étape : substitution des ions magnésium dans la résine échangeuse d'ions.

On prépare, par dissolution d'un comprimé du médicament dans une fiole jaugée, un volume $V = 250{,}0$ mL d'une solution aqueuse notée S.

On introduit un échantillon de volume $V_1 = 25{,}0$ mL de solution S par le haut d'une colonne contenant une résine. Celle-ci est constituée de billes poreuses saturées en ions oxonium $H_3O^+(aq)$ échangeables. Au contact de la résine, tous les ions magnésium présents dans l'échantillon vont s'échanger avec les ions oxonium et prendre leur place sur la résine. La solution recueillie dans un bécher après le passage dans la résine est appelée l'éluat.

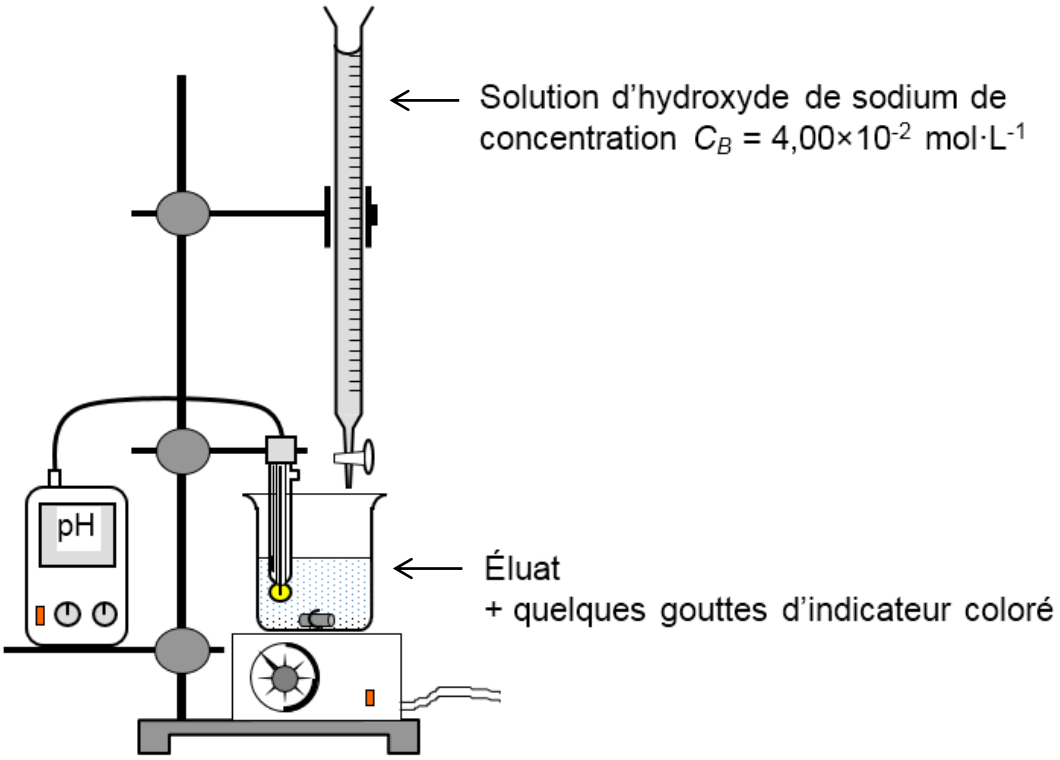


Pour chaque ion magnésium fixé, la résine libère deux ions oxonium.

<u>Deuxième étape</u> : dosage par titrage des ions oxonium dans l'éluat.

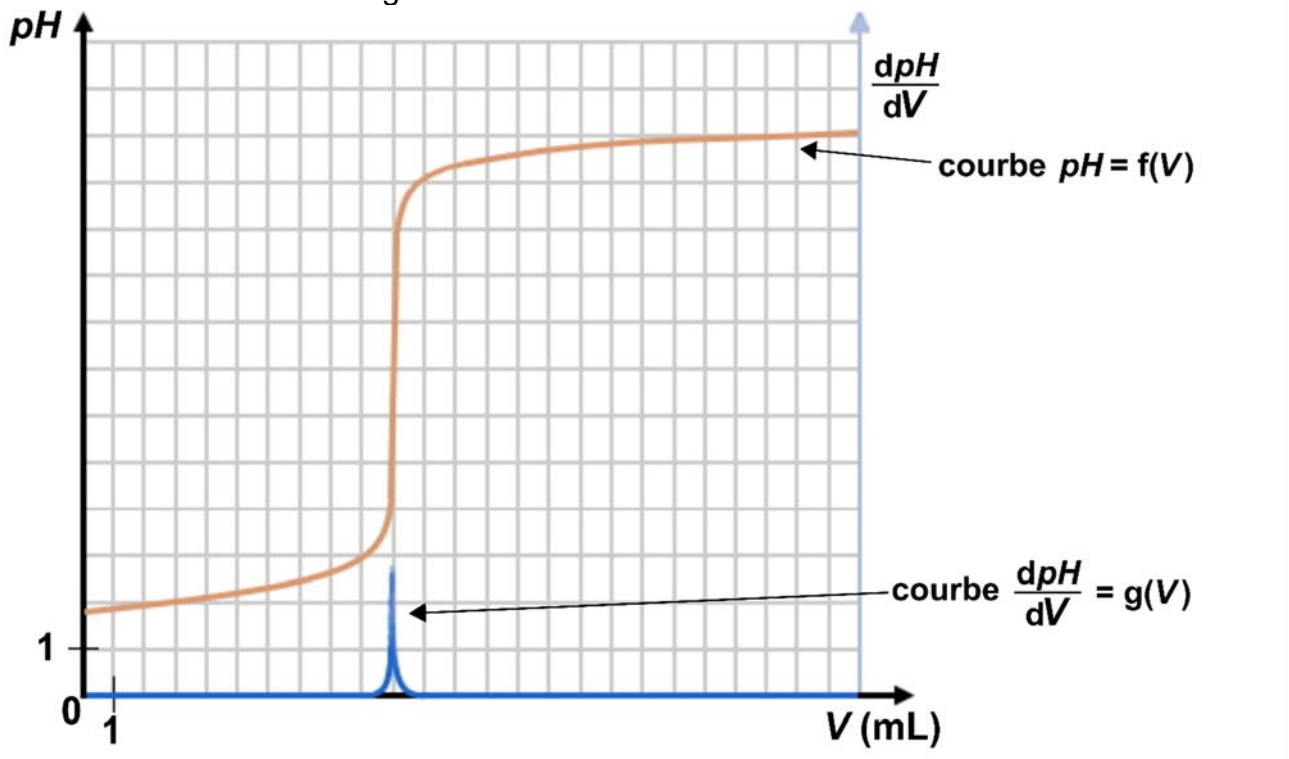
On dose ensuite, par pH-métrie, les ions oxonium contenus dans l'éluat par une solution d'hydroxyde de sodium.

On réalise le montage suivant :



Après un traitement numérique des mesures, on obtient le tracé suivant :

courbe de titrage des ions oxonium dans l'éluat



Exercice B (au choix)

La solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 4{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}, utilisée pour le titrage est obtenue par dilution d'une solution mère S_0 de concentration $C_0 = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}.

On dispose de fioles jaugées (50,0 mL ; 100,0 mL ; 200,0 mL) et de pipettes jaugées (10,0 mL ; 20,0 mL ; 25,0 mL).

1. Indiquer la verrerie à utiliser pour effectuer cette dilution avec un seul prélèvement de S_0. Expliquer la réponse.

2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage puis définir l'équivalence.

On dispose de trois indicateurs colorés acidobasiques.

Indicateur coloré	Teinte de la forme acide	Zone de virage	Teinte de la forme basique
Hélianthine	rouge	$3{,}1 < pH < 4{,}4$	jaune
Bleu de bromothymol	jaune	$6{,}0 < pH < 7{,}6$	bleu
Jaune d'alizarine	jaune	$10{,}1 < pH < 12{,}0$	rouge

3. Justifier, par un raisonnement détaillé, le choix possible de l'indicateur coloré pour suivre le dosage par titrage colorimétrique.

4. Montrer que la quantité de matière d'ions oxonium dans l'éluat est égale à $4{,}0 \times 10^{-4}$ mol.

Pour les adultes, le besoin quotidien en magnésium est estimé à 6,0 mg par kilogramme de masse corporelle.

5. **Résolution de problème** : *le candidat est invité à prendre des initiatives, à indiquer les hypothèses qu'il est amené à formuler et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

Déterminer le nombre de comprimés de médicament qui apporteraient, à un adulte en manque de magnésium, la masse de magnésium préconisée par jour.

Porter un regard critique sur le résultat obtenu en proposant un moyen de réduire cette consommation médicamenteuse.

EXERCICE C. DÉCAPAGE D'UNE PIÈCE EN ALUMINIUM (5 POINTS)

Mots clés : gaz parfait ; titrage conductimétrique ; titre massique d'une solution.

Utilisé pour dissoudre les impuretés et les défauts qui sont à l'origine de l'oxydation de la surface métallique, le décapage permet aux pièces métalliques d'améliorer leur résistance contre la corrosion et d'augmenter leur durée de vie. Ainsi, l'acide chlorhydrique est couramment utilisé dans l'industrie pour décaper des métaux.

Dans cet exercice, on étudie la préparation d'une solution d'acide chlorhydrique, puis son action lors du décapage d'une pièce en aluminium.

Données :

Masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1{,}0\ \text{g·mol}^{-1}$; $M(\text{A}\ell) = 27{,}0\ \text{g·mol}^{-1}$; $M(\text{C}\ell) = 35{,}5\ \text{g·mol}^{-1}$

Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}32\ \text{Pa·m}^3\text{·mol}^{-1}\text{·K}^{-1}$

La température T en kelvin est reliée à la température θ en degré Celsius par : $T(\text{K}) = \theta(°\text{C}) + 273{,}15$.

A. Préparation d'une solution d'acide chlorhydrique

Pour préparer une solution S d'acide chlorhydrique, on dissout un volume de 150 L de chlorure d'hydrogène gazeux HCℓ(g) dans de l'eau pour obtenir 1,00 L de solution aqueuse d'acide chlorhydrique.

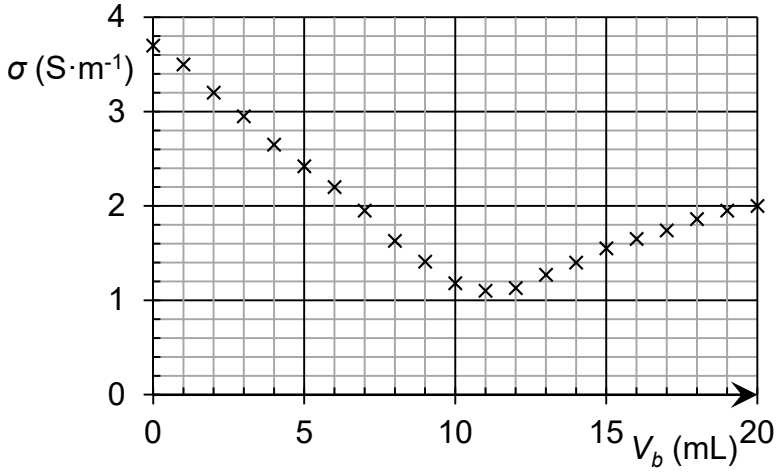
Le chlorure d'hydrogène est assimilé à un gaz parfait et l'expérience se déroule sous une pression atmosphérique de 1 013 hPa et à une température ambiante de 20 °C.

A.1. Écrire l'équation de dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau.

A.2. Déterminer la concentration en quantité de matière de chlorure d'hydrogène apportée C_S de la solution S ainsi préparée.

Pour contrôler la concentration en quantité de matière de la solution obtenue, on procède à un titrage conductimétrique par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. Après dilution de la solution précédemment obtenue, on met en œuvre le titrage et on obtient le graphique suivant.

Courbe de titrage conductimétrique d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium



Conductivités ioniques molaires :

Ion	sodium	chlorure	oxonium	hydroxyde
λ ($S \cdot cm^2 \cdot mol^{-1}$)	50	76	350	200

A.3. Justifier, en développant le raisonnement, l'évolution qualitative de la pente de la courbe au cours du titrage.

B. Décapage à l'acide chlorhydrique

Une pièce d'aluminium de 350 g est décapée dans 1,00 L d'une solution d'acide chlorhydrique. Une réaction chimique a lieu à la surface, éliminant une partie de l'aluminium qui passe en solution. Un dégagement gazeux incolore et extrêmement inflammable est observé.

L'équation chimique modélisant la réaction de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium s'écrit :

$$2\ A\ell\,(s) + 6\ H_3O^+\,(aq) \rightarrow 2\ A\ell^{3+}\,(aq) + 3\ H_2\,(g) + 6\ H_2O\,(\ell)$$

On considèrera que cette transformation est totale.

B.1. Indiquer si l'équation chimique ci-dessus traduit une réaction acido-basique ou une réaction d'oxydoréduction. Justifier la réponse.

Dans la situation étudiée, on souhaite que le décapage cesse lorsque 0,10 % de la masse d'aluminium a réagi.

B.2. Déterminer la concentration, notée *C*, en quantité de matière d'ions $H_3O^+(aq)$ de la solution d'acide chlorhydrique à utiliser pour décaper correctement la pièce en aluminium considérée.

Le pourcentage massique d'une solution d'acide chlorhydrique est la masse de gaz chlorure d'hydrogène dissous pour obtenir 100 g de solution. Ainsi 100 g de solution d'acide chlorhydrique à 10 % ont été fabriqués en dissolvant 10 g de chlorure d'hydrogène.

On dispose d'une solution commerciale à 23 % en masse d'acide chlorhydrique. La masse volumique ρ_{sol} de cette solution est égale à 1,15 $g \cdot mL^{-1}$.

B.3. Déterminer la dilution à appliquer à la solution commerciale à 23 % pour décaper correctement la pièce d'aluminium.